

00684.003279



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

Chidane OUCHI

Application No.: 09/986,323

Filed: November 8, 2001

For: EXPOSURE APPARATUS AND
DEVICE MANUFACTURING
METHOD USING THE SAME

)

:

)

:

)

:

)

:

)

:

)

Examiner: Unassigned

Group Art Unit: 2881

February 25, 2002

#6
12-20-02
OFFICE RECEIVED
FEB 25 2002
TECHNICAL STAFF

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

In support of Applicant's claim for priority under 35 U.S.C. § 119, enclosed is a
certified copy of the following foreign application:

JAPAN 2000-344356, filed November 10, 2000.

Applicant's undersigned attorney may be reached in our Washington, D.C., office by
telephone at (202) 530-1010. All correspondence should continue to be directed to our address
given below.

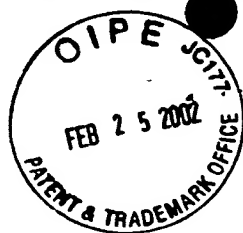
Respectfully submitted,

Attorney for Applicant

Steven E. Warner

Registration No. 33,326

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO
30 Rockefeller Plaza
New York, New York 10112-3801
Facsimile: (212) 218-2200
SEW/cab



CFE3279US(Y1)
344356/2000

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

U.S. Appln. No.
09/986,323

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年11月10日

出願番号

Application Number:

特願2000-344356

出願人

Applicant(s):

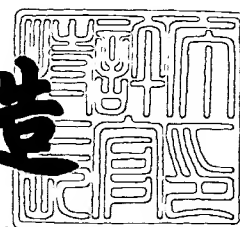
キヤノン株式会社

RECEIVED
FEB 25 2002
TECHNICAL CENTER

2001年11月30日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3105263

【書類名】 特許願
【整理番号】 4355023
【提出日】 平成12年11月10日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/30
【発明の名称】 露光装置及びデバイス製造方法
【請求項の数】 13
【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 大内 千種

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100076428

【弁理士】

【氏名又は名称】 大塚 康徳

【電話番号】 03-5276-3241

【選任した代理人】

【識別番号】 100101306

【弁理士】

【氏名又は名称】 丸山 幸雄

【電話番号】 03-5276-3241

【選任した代理人】

【識別番号】 100115071

【弁理士】

【氏名又は名称】 大塚 康弘

【電話番号】 03-5276-3241

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003458

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001010

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光装置及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 連続発振レーザから出力されるレーザ光でレチクル上のパターンを照明する照明光学系と、該照明されたパターンを露光対象物体に投影する投影光学系とを有する露光装置であって、

前記連続発振レーザから出力されるレーザ光を利用する干渉計を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 2】 前記干渉計は、前記露光対象物体を保持するステージ上に配置された反射部材を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】 前記干渉計は、前記投影光学系の波面収差を計測するための干渉縞を形成することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の露光装置。

【請求項 4】 前記連続発振レーザは、発振波長が 193 nm 又は 157 nm の連続発振エキシマレーザであることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 5】 前記干渉計は、フィゾータイプであることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 6】 前記連続発振レーザの発振波長を安定化させる安定化機構を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 7】 前記連続発振レーザと前記照明光学系との間に、前記連続発振レーザから出力されるレーザ光の一部を前記干渉計に指向する半透過鏡を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 8】 前記連続発振レーザから出力されるレーザ光をインコヒーレント化して前記レチクルに指向する光学系を備え、前記半透過鏡は、前記連続発振レーザと前記光学系との間に配置されており、前記干渉計には、インコヒーレント化されていないレーザ光が前記半透過鏡により指向されることを特徴とする請求項 7 に記載の露光装置。

【請求項 9】 前記連続発振レーザから出力されるレーザ光の光路を、前記照明光学系に向かう光路又は前記干渉計に向かう光路に切り替える光路繰り替え鏡を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 10】 前記連続発振レーザから出力されるレーザ光をインコヒーレント化して前記レチクルに指向する光学系を備え、前記光路切り替え鏡は、前記連続発振レーザと前記光学系との間に配置されており、前記干渉計には、インコヒーレント化されていないレーザ光が前記光路切り替え鏡により指向されることを特徴とする請求項 9 に記載の露光装置。

【請求項 11】 前記干渉計によって形成された干渉縞を撮像する光電変換器と、

前記光電変換器の出力を解析して前記投影光学系を制御する演算器と、
を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 12】 前記連続発振レーザに対して所定波長のレーザ光を注入するパルス発振レーザを更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 13】 請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか 1 項に記載の露光装置を使用してパターンをウエハに露光する段階と、

該露光したウエハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、露光装置及びデバイスの製造方法に関し、特に、連続発振エキシマレーザから出力されるレーザ光を用いて投影露光を行なう露光装置及びデバイスの製造方法に関する。

【0002】

【発明が解決しようとする課題】

投影露光装置に投影光学系の波面収差を測定するための干渉計を搭載することが考えられる。しかしながら、干渉計用の光源を露光用の光源とは別に設けると、露光装置全体の大型化を招く。

【0003】

本発明の目的は、露光装置に干渉計を搭載することによる該露光装置の大型化を回避することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】

本発明は、連続発振レーザから出力されるレーザ光でレチクル上のパターンを照明する照明光学系と、該照明されたパターンを露光対象物体（例えば、ウェハ）に投影する投影光学系とを有する露光装置に係り、前記連続発振レーザから出力されるレーザ光を利用する干渉計を備えることを特徴とする。

【0005】

本発明の好適な実施形態によれば、前記干渉計は、前記露光対象物体を保持するステージ（例えば、ウェハステージ）上に配置された反射部材を含む。

【0006】

本発明の好適な実施形態によれば、前記干渉計は、前記投影光学系の波面収差を計測するための干渉縞を形成するように構成されている。

【0007】

本発明の好適な実施形態によれば、前記連続発振レーザは、発振波長が193nm又は157nmの連続発振エキシマレーザであることが好ましい。

【0008】

本発明の好適な実施形態によれば、前記干渉計は、フィゾータイプが、構成が簡単であるので、好ましいが、トワイマングリーンタイプ、及び、マッハツエンダータイプ等の他の干渉計も使用可能である。

【0009】

本発明の好適な実施形態によれば、本発明の露光装置は、前記連続発振レーザの発振波長を安定化させる安定化機構を更に備えることが好ましい。

【0010】

本発明の好適な実施形態によれば、前記連続発振レーザと前記照明光学系との間に、前記連続発振レーザから出力されるレーザ光の一部を前記干渉計に指向する半透過鏡、或いは前記連続発振レーザから出力されるレーザ光の光路を、前記照明光学系に向かう光路又は前記干渉計に向かう光路に切り替える光路切り替え鏡を更に備えることが好ましい。ここで、本発明の露光装置は、前記連続発振レーザから出力されるレーザ光をインコヒーレント化して前記レチクルに指向する光学系を更に備え、前記半透過鏡又は光路切り替え鏡は、前記連続発振レーザと前記インコヒーレント化素子との間に配置されており、前記干渉計には、インコヒーレント化されていないレーザ光が前記半透過鏡又は光路切り替え鏡により指向されることが好ましい。

【 0 0 1 1 】

本発明の好適な実施形態によれば、前記干渉計によって形成された干渉縞を撮像する光電変換器と、前記光電変換器の出力を解析して前記投影光学系を制御する演算器とを更に備えることが好ましい。

【 0 0 1 2 】

本発明の好適な実施形態によれば、前記連続発振レーザに対して所定波長のレーザ光を注入するパルス発振レーザを更に備えることが好ましい。

【 0 0 1 3 】

本発明の他の側面は、デバイスの製造方法に係り、上記の露光装置を使用してパターンをウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の第1の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。この投影露光装置は、例えば、半導体素子、液晶素子、撮像素子、磁気ヘッドなどの各種デバイスを製造するために使用され得る。また、この投影露光装置は、例えば、分解能が $0.13\mu\text{m}$ 以下のステップ・アンド・リピート型またはステップ・アンド・スキャン型の投影露光装置に応用され得る。

【 0 0 1 5 】

図1において、連続発振レーザ1は、例えば中心波長が193nmで半値幅が0.1pm以下のレーザ光を出力するエキシマレーザである。この連続発振レーザ1から出力されるレーザ光は、半透過鏡(Beam Splitter)51をその大部分が透過し、照明光学系2のインコヒーレント化素子によりインコヒーレント化された後に照明光学系10に入射し、この照明光学系10により、均一な光強度分布を持つ所定の断面形状を有する照明光となって不図示のレチクルを照明する。

【0016】

投影光学系3は、レーザ光で照明されたレチクルの回路パターンをウェハW上に縮小投影して該ウェハWを露光する。ウェハW上には複数のショット領域が設定されており、このような投影露光が、一括露光または走査露光により、ウェハW上の各ショット領域に対して行われる。

【0017】

ウェハWは可動ステージ4上に保持されて投影光学系3の像平面に沿って移動するとともに投影光学系3の光軸方向にも移動する。この可動ステージ4上には、干渉計の一要素である凹の球面鏡よりなる無収差反射部材MRが固定されている。

【0018】

この露光装置は、前記干渉計の他の要素である無収差光学系L(対物レンズ等を含む)を有する。無収差光学系Lは、不図示の駆動機構により、投影光学系3の波面収差を計測する際は、レチクルRを保持するレチクルステージ14と照明光学系10のコンデンサーレンズとの間に挿入され、露光対象物であるウェハWを露光する際は待避される。また、投影光学系3の波面収差を計測する際、レチクルRは、レチクルステージ14の移動により、照明光学系2と投影光学系3との間から待避されるか、レチクルRをステージ14上に置く前に波面収差が測定される。半透過鏡51により反射したレーザ光の一部はリレー光学系であるミラー11で反射され、更に半透過鏡15で反射されて無収差光学系Lに入射する。無収差光学系Lは、投影光学系3の任意の物体高位置(像高位置)に測定用の物点となる光スポットを形成した後に投影光学系3に入射するように、レーザ光をフォーカスする。

【0019】

投影光学系3の波面収差を計測する際、上記のように無収差光学系Lをレチクルステージ14と照明光学系10との間に挿入する他、ウェハステージ4に固定された反射部材MRが上記物体高位置に対応する像高位置に極率中心が一致するように可動ステージ4が駆動される。このとき、無収差光学系L、投影光学系3及び反射部材MRにより干渉計が構成される。露光用及び計測用の光源である連続発振エキシマレーザから出力されるレーザ光は、無収差光学系L及び投影光学系3を通して反射部材MRに至り、反射部材MRで反射されて再び投影光学系3を通る。投影光学系3を通ったレーザ光は、連続発振レーザ1から出力されたレーザ光で別途形成された参照光と干渉し干渉縞（干渉パターン）を形成する。この干渉縞は、投影光学系3の波面収差を反映している。

【0020】

この干渉縞は、不図示の結像レンズにより光電変換器13上に結像され、光電変換器13によりビデオ信号に変換されて演算器8に提供される。演算器8は、このビデオ信号を解析することによって、投影光学系3の波面収差を示す球面収差データを得る。演算器8はまた、得られた波面収差データに基づいて投影光学系3の状態を評価し、その結果に基づいて、例えば公知の収差調整機構（例えば一つ又は複数のレンズを光軸方向に移動させる機構）を用いて自動的に投影光学系3の光学性能の最適化を行ったり、ウェハステージ4を光軸方向に移動させたり、露光動作を禁止したりする。

【0021】

無収差光学系L、投影光学系3及び反射部材MRにより構成される干渉計としては、例えば、当業者に周知のフィゾータイプ、トワイマングリーンタイプまたはマッハツエンダータイプ等が好適であり、採用するタイプに合わせて無収差光学系Lの構成が決定される。特に、フィゾータイプの干渉計は、構成が簡単なので、好適である。連続発振レーザは可干渉距離が長いので、フィゾータイプの干渉計でも、高いコントラストの干渉縞が形成できる。

【0022】

ここで、連続発振エキシマレーザは、時間と共に発振波長が変化する傾向があ

る。そこで、連続発振エキシマレーザを連続発振レーザ 1 として採用する場合には、干渉縞、即ち波面収差の測定を正確に行なうために、後述するような波長安定化機構を設けて連続発振レーザ 1 の発振波長を安定化させることが好ましい。

【 0 0 2 3 】

投影光学系 3 としては、レンズ系で構成される屈折光学系 (dioptric system) または複数のレンズと凹面鏡を組み合わせて構成される反射屈折光学系 (catadioptricsystem) のいずれをも採用することができる。屈折光学系としては、半値幅が小さい場合、単一の硝材で構成されるレンズ系を採用することができる。

【 0 0 2 4 】

図 2 は、第 1 の実施形態の投影露光装置の変形例としての第 2 の実施形態の投影露光装置の概略図である。なお、特に言及しない事項については、図 1 に示す第 1 の実施形態と同様である。図 1 に示す第 1 の実施形態では半透過鏡 5 1 を用いて連続発振レーザ 1 から出力されるレーザ光の一部を無収差光学系 L に指向するのに対して、図 2 に示す第 2 の実施形態では光路切り替えミラー 5 2 が連続発光発振レーザ 1 と露光用の照明光学系 2 との間に配置されており、投影光学系 3 の波面収差を計測する際は、光路切り替えミラー 5 2 により、連続発振レーザ 1 から出力されるレーザ光の全部を無収差光学系 L に指向する。また、図 1 に示す第 1 の実施形態はインコヒーレント化素子を有するのに対して、図 2 に示す第 2 の実施形態はインコヒーレント化素子を有しない。ただし、第 2 の実施形態においても、第 1 の実施形態と同様に、インコヒーレント化素子を光路切り替えミラー 5 2 と照明光学系 1 0 との間に設けてもよい。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、本発明の第 3 の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。この投影露光装置は、例えば、半導体素子、液晶素子、撮像素子或いは磁気ヘッドなどのデバイスを製造するために使用され得る。また、この露光装置は、例えば、分解能が $0.13\mu\text{m}$ 以下のステップ・アンド・スキャン型の露光装置に関する。なお、特に言及しない事項については、図 1 に示す第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 2 6 】

図3に示す実施形態においても、図1に示す実施形態と同様に、干渉計を構成する無収差光学系L、投影光学系3及び反射部材MRを有し、該干渉計により投影光学系3の波面収差を測定し、該波面収差の調整を行なう。なお、ビームスプリッター51は、図2に示す実施形態の切り替えミラー52で置き換えられてもよい。

【0027】

図3において、1は連続発振ArFエキシマレーザ（中心波長193nm、半値幅0.2 μ m以下、好ましくは0.1 μ m以下）、2はレーザ1から出力されたレーザ光であり、回路パターンが形成されたレチクルRを照明する照明光学系10、3はレチクルRの回路パターンの縮小像をウエハW上に縮小投影する投影光学系であり、実質的に単一の硝材より成るレンズ系で構成されている。4はウエハWを保持して移動するウエハステージを示す。このウエハステージ4上に球面鏡を備える反射部材MRが固定されている。

【0028】

図3に示す投影露光装置は、断面が矩形または円弧形状の、スリット状の照明光でレチクルを照明しながら、該スリット状の照明光の幅方向に、レチクルRとウエハWを、投影光学系3の光軸と直交する方向に、互いに逆向きに、光学系3の投影倍率に対応する速度比で走査することにより、レチクルRの回路パターンをウエハWの各ショット領域に投影露光する。

【0029】

図3において、5は半透過鏡、6は半透過鏡5で反射されたレーザ光の一部を受光して、レーザ光の波長を検出する波長モニタ、7は波長モニタ6の出力に基づいて設計波長からの現在の中心波長のずれ量を検出し、このずれ量に基づいてピエゾ素子9を駆動する演算器7である。演算器7とピエゾ素子9により連続発振レーザ1の共振用のミラーをレーザ管の光軸方向に微小変位させて共振器長を変えることにより、連続発振レーザ1の中心波長を設計波長に一致させ、レーザ光の中心波長を一定に維持することができる。これにより、実質的に単一の硝材で構成されるレンズ系である投影光学系3においてレーザ光の波長変動に起因して光学特性（例えば、倍率、焦点位置、収差）が変動することを防止することが

でき、レチクルRの回路パターンを正確にウエハW上に投影することができる。

【0030】

演算器8は、光電変換器13から提供されるビデオ信号や他のセンサから提供される情報を評価し、その評価結果に基づいて投影光学系3の光学特性（倍率、焦点位置、収差）の変化を補正する。この補正は、例えば、投影光学系3の1又は複数のレンズやウェハステージ4を光軸方向に移動させることにより、又は他の公知の手法に従ってなされ得る。

【0031】

図4は、図3に示す連続発振エキシマレーザ1の概略図である。101は、励起用のガスが高速循環されるレーザチャンバ、103は、マイクロ波をレーザチャンバ101内に導入する誘電体、104は、マイクロ波を導波するスロット導波管、105は、マイクロ波を供給するマイクロ波発振源である。→非実用的なので削除します。109はシャッター、110は、マイクロ波発振源105及びシャッター109を制御する制御系である。M1はレーザからの光を出力するアウトプットミラー、M2はミラーであり、ミラーM1、M2とでエキシマレーザ1の光共振器を構成している。

【0032】

マイクロ波発振源105から供給されるマイクロ波は、マイクロ波導波管104によって導波され、該マイクロ波導波管104及び誘電体3を介してレーザチャンバ101内に導入され、エキシマレーザガスを連続的に励起する。励起されたエキシマレーザガスが放出する光は、ミラーM2で反射し、レーザチャンバ101に戻り、励起されたエキシマレーザガスからの光の誘導放出を促し、その光がアウトプットミラーM1とミラーM2とで構成される光共振器内を往復しながら順次光の誘導放出を促すことにより、所定の波長の光のみが増幅される。そして、増幅された光の一部がアウトプットミラーM1を介して出力される。

【0033】

図5は、図3に示す照明光学系10の構成を示すブロック図である。図5において、図3に示す連続発振エキシマレーザ1から出力されたレーザ光は偏光制御系61によって少なくとも2光束に分割される。ここで、例えば、レーザ光を2

光束に分割する場合には、該 2 光束の偏光方向が互いに直交するように分割され得る。断面強度分布均一化系 6 2 は、これらの分割された光束を用いて、レーザ光の断面の強度分布を均一化する。偏光制御系及び断面強度分布均一化系はどちらも公知である。断面強度分布均一化系は、通常、フライアイレンズと集光光学系の組及び光パイプ（カレイドスコープ）の少なくとも一方を含む。

【 0 0 3 4 】

断面強度分布均一化系 6 2 からのレーザ光は、走査光学系 6 4 により、照明光学系 1 0 の瞳面にフォーカスされ、走査光学系 6 4 の 2 次元走査用の一枚若しくは二枚のガルバノミラーを駆動装置 6 3 で駆動して回転させることによって、照明光学系 1 0 の瞳面に形成したレーザ光スポットを走査し、瞳面に、予め決めた形状及び大きさを持つ 2 次光源（有効光源）を形成する。この形状としては、円、有限の幅を持つ輪帯、四重極などが好適であり、この形状は、レチクルのパターンの種類や寸法に応じて自動的に或いは手動で選択される。

【 0 0 3 5 】

走査光学系 6 4 からのレーザ光はマスクキングブレード結像系 6 5 を介して不図示のレチクルに達し、該レチクルを、上述した断面形状が矩形または円弧のスリット状に光で照明する。マスクキングブレード結像系 6 5 は、上記の瞳面の前方または後方にある、レチクルと光学的に共役な、矩形または円弧のスリットを規定するマスクキングブレードを、レチクル上に結像させる。

【 0 0 3 6 】

また、2 次元走査用の一枚若しくは二枚のガルバノミラーの光反射位置とレチクルの回路パターン位置とは光学的に共役な関係にあり、ガルバノミラーの回転で順次生じる複数の光束をレチクルの同一領域に入射させることができる。

【 0 0 3 7 】

なお、照明光学系の 2 の瞳面は投影光学系 3 の瞳面（開口絞りの）と光学的に共役な位置関係にあり、且つ両者の間にはフライアイレンズ及び光パイプがないので、照明光学系の瞳面での光強度分布は、実質的にそのまま、投影光学系 3 の瞳面に投影される。

【 0 0 3 8 】

ガルバノミラー駆動装置 6 3 は、レチクルまたはウエハの走査速度を $V(\text{mm/s})$ 、レチクル上の照明光（スリット）の幅を $W(\text{mm})$ 、瞳面に一回 2 次光源を描くに必要な時間を $T(\text{sec})$ とすると、

$$W/V = nT \quad (n \text{ は整数})$$

を満たすように、レーザ光スポットを走査する。これにより、ウエハ上のショット領域全体が互いに同じ形状の有効光源を使って投影露光されることになり、露光の均一化が達成される。

【 0 0 3 9 】

図 6 に投影光学系 3 のレンズ構成の一例を、図 7 に図 6 の投影光学系 3 の収差図を示す。図 6 の投影光学系 3 は、全てのレンズが合成石英 (SiO_2) より成り、投影倍率は $1/4$ 倍であり、像側の開口数は $NA = 0.65$ 、物像間距離（レチクルとウエハ W との間の距離）は $L = 1000 \text{ mm}$ である。また、設計波長は 193 nm 、画面範囲はウエハ上での露光領域の直径で 27.3 mm である。また、物体側（レチクル側）及び像面側（ウエハ側）においてほぼテレセントリックになっている。図 11 に図 6 に示す投影光学系 3 のレンズデータを示す。

【 0 0 4 0 】

尚、図 11 において、 r_i は物体側より順に第 i 番目のレンズ面の曲率半径、 d_i は物体側より順に第 i 番目のレンズ厚及び空気間隔、 n_i は物体側より順に第 i 番目のレンズの硝子の屈折率を示す。非球面の形状は (1) 式で与えられる。

【 0 0 4 1 】

【数 1】

(非球面の形状)

$$X = \frac{H^2/h}{1 + (1 - (Hk) \cdot (H/h)^2)^{\frac{1}{2}}} + A \cdot H^4 + B \cdot H^6 + C \cdot H^8 \\ + D \cdot H^{10} + E \cdot H^{12} + F \cdot H^{14} + G \cdot H^{16} + \dots$$

… (1)

ここで、Xはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、 r_i は曲率半径、kは円錐定数、A, . . . , Gは非球面係数である。尚、露光波長193nmに対する石英の屈折率は1.56020とする。また、非球面の局所曲率パワーPHは、上記非球面の(1)式をX(H)の関数として(2)式で与えられる。

【0042】

$$PH = (N' - N) / \rho$$

$$\text{但し、} \rho = (1 + X'^2)^{3/2} / X'' \quad \dots (2)$$

N、N' は各々屈折面の前後の媒質の屈折率である。

【0043】

図3の投影光学系3は、物体側(レチクル側)より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群L1、負の屈折力を有する第2レンズ群L2、正の屈折力を有する第3レンズ群L3、負の屈折力を有する第4レンズ群L4、正の屈折力を有する第5レンズ群L5、負の屈折力を有する第6レンズ群L6、正の屈折力を有する第7レンズ群L7、により構成し、非球面を7面も使用している。

【0044】

第1レンズ群L1は、像側に凸面を向けた平凸形状の1枚の非球面正レンズで構成される。 r_2 の非球面は局所曲率パワーの変化が正方向である領域を有しており、この非球面により、主に正の歪曲収差を発生させ、歪曲収差の補正に寄与している。

【0045】

第2レンズ群L2は、両凹形状の1枚の非球面負レンズで構成される。 r_3 の非球面は局所曲率パワーの変化が負方向である領域を有しており、また、第1レンズ群L1の r_2 との関係においては、局所曲率パワーの変化が逆方向の領域を有している。

【0046】

第3レンズ群L3は、物体側から順に配置された、像側に凸面を向けた平凸形状の正レンズ、及び、物体側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズで構成

される。

【0047】

第4レンズ群L4は、物体側から順に配置された、両凹形状の負レンズ、及び、両凹形状の非球面負レンズで構成される。 r_{11} の非球面は局所曲率パワーの変化が負方向である領域を有しており、また、第1レンズ群L1の r_2 との関係においては、局所曲率パワーの変化が逆方向の領域を有している。この非球面により、主に像面及びコマ収差等をバランス良く補正することに寄与している。

【0048】

第5レンズ群L5は、物体側より順に配置された、像側に凸面を向けた略平凸形状の正レンズ、及び、両凸形状の正レンズで構成される。

【0049】

第6レンズ群L6は、両凹形状の1枚の非球面負レンズで構成される。この非球面により、主に強い負の屈折力により発生する球面収差やコマ収差を効果的に補正している。

【0050】

第7レンズ群L7は、物体側より順に配置された、像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた略平凸形状の正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の2枚の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、及び、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズで構成される。この第7レンズ群においては、物体面上の軸上から発した光束である軸上光束が高い位置において用いられている非球面は、主にこの強い正の屈折力を有する第7レンズ群で発生する負の球面収差を補正するために用いられている。また、像面付近の凸面で用いられている非球面は、主にコマ収差と歪曲収差をバランス良く補正するのに寄与している。

【0051】

この投影光学系3では、特に絞りの手前に5面の非球面レンズを導入することにより、主に歪曲収差や非点収差、コマ収差等がバランス良く効果的に補正されている。また、この投影光学系3では、軸外主光線に影響の大きな面を非球面にすることにより、軸外に関連した収差を主に補正するとともに他の収差補正の負

担を軽減し、良好な光学性能が実現されている。また、この投影光学系 3 は、7 枚の非球面レンズを使用することにより、高開口数（高 NA）でありながら少ないレンズ数（合計で 16 枚）で構成されている。

【0052】

図 6 の投影光学系 3 は全てのレンズが合成石英（ SiO_2 ）より成る単色のレンズ系であったが、例えば、図 6 の投影光学系の第 7 レンズ群 L 7 の最もウエハ側の 1 ～ 2 枚のレンズや不図示のカバーガラスを螢石（ CaF_2 ）で構成することで、レンズ系の耐久性を上げてもいい。このような光学系も実質的に単一の硝材からなる光学系ということができる。

【0053】

図 8 は、本発明の第 4 の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。図 8 において、図 3 の投影露光装置と同一の構成要素には図 3 と同一の符号を付し、説明を省略する。図 8 の投影露光装置では、波長モニタ 6 の出力を演算器 7 の他、演算器 8 にも供給される。演算器 8 は、光電変換器 13 の出力の他、波長モニタ 6 の出力変動（即ち、レーザ光の波長変動）に基づいて、投影光学系 3 の光学特性（例えば、倍率、焦点位置、収差等）の変化を補正する。この補正は、例えば、投影光学系 3 の 1 又は複数のレンズや可動ステージ 4 を光軸方向に移動させることにより、又は他の公知の手法に従ってなされ得る。このような投影光学系 3 の光学特性の補正機能を備えることにより、演算器 7 及びピエゾ素子 9 による波長安定化と光学特性の補正とを選択的に実施し、又は、双方を実施することができる。

【0054】

更に、図 8 に示す実施形態の投影露光装置は、連続発振エキシマレーザ 1 にパルス発振 ArF エキシマレーザ（中心波長 193 nm、半値幅 1 pm 以下）10 から出力されるパルス光を注入して連続発振エキシマレーザ 1 の発振波長を該パルス光の発振波長に一致させる機構を有する。このような手法を注入同期法（injection lock）という。

【0055】

連続発振エキシマレーザ 1 では、発振開始時に中心波長が設計値（通常、光学

系を設計する際の波長と同一) に一致するまでに時間がかかったり、最悪の場合には設計値に一致なかったりする。しかしながら、この注入同期法を用いて、連続発振エキシマレーザ 1 に、その設計波長と中心波長が同じでバンド幅が 1 pm 以下に狭帯域化されたパルス発振エキシマレーザ光を注入することで、連続発振エキシマレーザ 1 の発振波長を設計波長である 193 nm に常に発振開始時に一致させることができる。

【0056】

パルス発振エキシマレーザ 201 から出力されるレーザ光の一部は半透過鏡 203 で反射して波長モニタ 204 に入射する。波長モニタ 204 はパルスレーザ光の波長を検出して演算器 202 に提供する。演算器 202 は、波長モニタ 204 の出力に基づいて、設計波長からのパルスレーザ光の現在の中心波長のずれ量を検出し、このずれ量に基づいてパルス発振エキシマレーザ 201 内の狭帯域化素子（例えば、プリズム、回折格子またはエタロン）を駆動することにより、パルス発振エキシマレーザ 201 の中心波長を設計波長である 193 nm に一致させる。したがって、中心波長が 193 nm に維持されたパルスレーザ光が連続発振エキシマレーザ 1 に注入される。この注入時に連続発振エキシマレーザ 1 の波長安定化機構 (5,6,7,9) を作動させるにより連続発振エキシマレーザ 1 の中心波長は素早く設計波長である 193 nm に一致する。また、その後は、連続発振エキシマレーザ 1 を再起動するまでは、注入同期を行う必要はない。注入同期を止めても、波長安定化機構 (5,6,7,9) が作動していれば、連続発振エキシマレーザ 1 から出力されるレーザ光の中心波長は一定に維持され、単色のレンズ系である投影光学系 3 において連続発振エキシマレーザ 1 からのレーザ光の波長変動に基づく光学特性（倍率, 焦点位置, 収差等）の変動が生じるのを防止し、レチクルの回路パターンを正確にウエハ W 上に投影することができる。

【0057】

本発明によれば、解像度が $0.09 \mu\text{m}$ 以下の投影露光装置を実現することもできる。この場合、連続発振レーザ 1 として連続発振 F_2 エキシマレーザ（中心波長 157 nm 、半値幅 0.1 pm 以下、好ましくは 0.08 pm 以下）が使用され得る。

【0058】

図 9 及び図 1 0 は、以上説明した投影露光装置を用いてデバイスを製造する際の製造フローを示す図である。

【 0 0 5 9 】

図 9 は、微小デバイス（I C や L S I 等の半導体チップ、液晶パネル、C C D、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造のフローを示す。ステップ 1（回路設計）では半導体デバイスの回路パターンを設計する。ステップ 2（マスク製作）では設計した回路パターンに基づいてマスク（レチクル）を作成する。一方、ステップ 3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ 4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記のマスク及びウエハを用いて、リソグラフィ技術によって該ウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ 5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ 6（検査）ではステップ 5 で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 7）される。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 は、上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ 1 1（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 1 2（C V D）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 1 3（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 1 4（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ 1 6（露光）では上記説明した投影露光装置によって回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ 1 7（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ 1 8（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 1 9（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【 0 0 6 1 】

本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体

デバイスを低コストに製造することができる。

【 0 0 6 2 】

【発明の効果】

以上、本発明によれば、露光装置に干渉計を搭載することによる該露光装置の大型化を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。

【図 2】

本発明の第 2 の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。

【図 3】

本発明の第 3 の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。

【図 4】

図 3 に示す連続発振エキシマレーザの概略図である。

【図 5】

図 3 に示す照明光学系の構成を示すブロック図である。

【図 6】

図 3 に示す投影光学系のレンズ構成の一例を示す図である。

【図 7】

図 6 に示す投影光学系の収差図である。

【図 8】

本発明の第 4 の実施形態の投影露光装置を示す概略図である。

【図 9】

微小デバイス（IC や L S I 等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造のフローを示す。

【図 1 0】

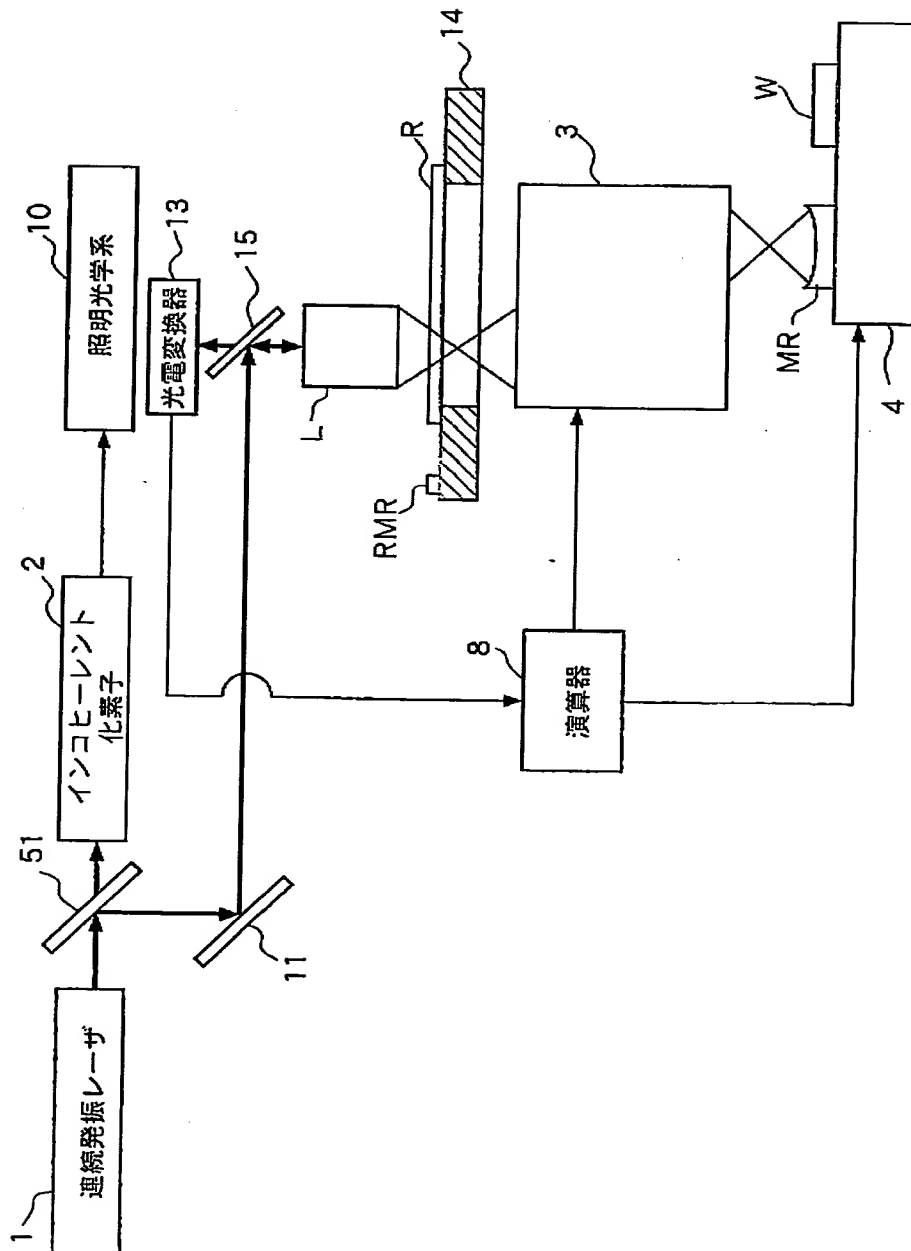
ウェハプロセスの詳細なフローを示す。

【図 1 1】

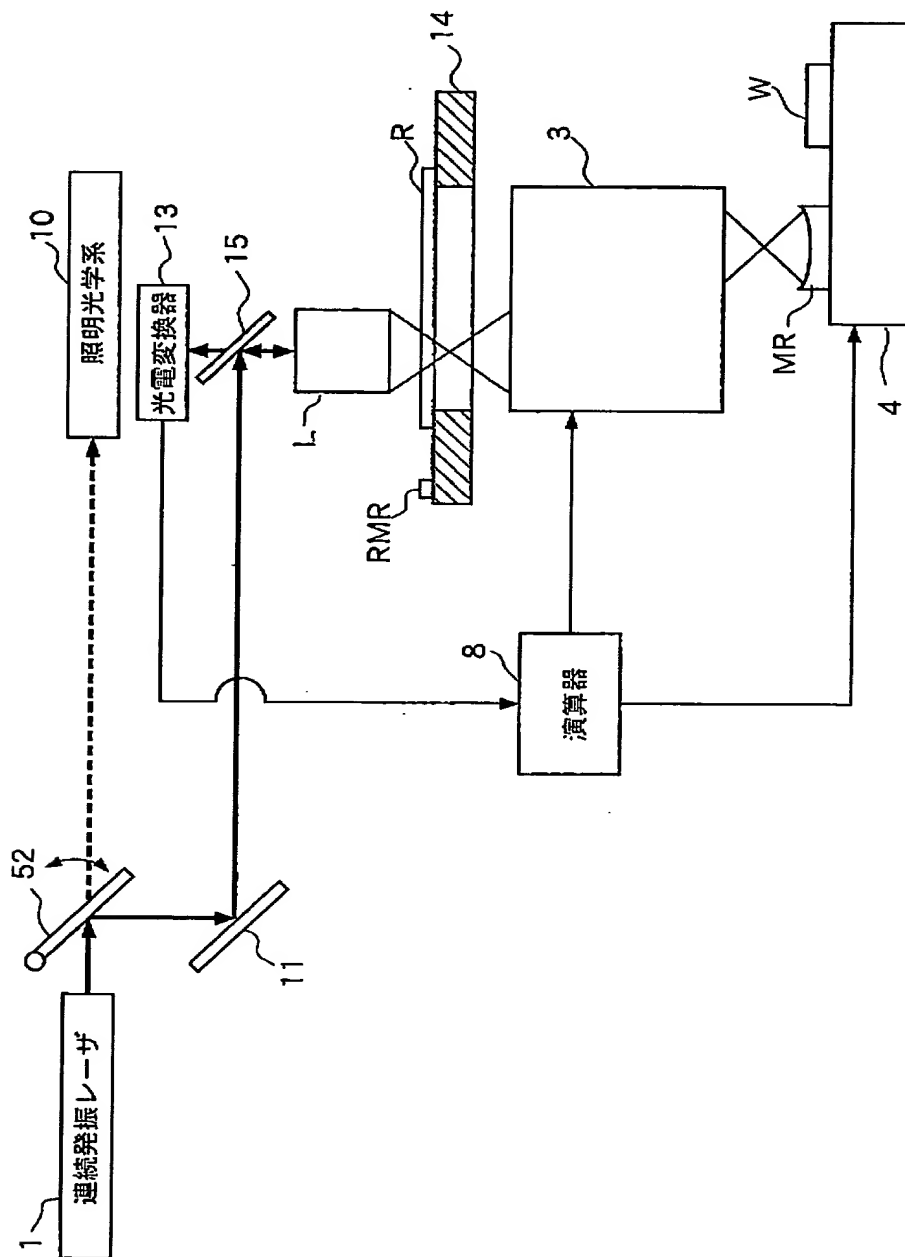
図 6 に示す投影光学系のレンズデータを示す図である。

【書類名】 図面

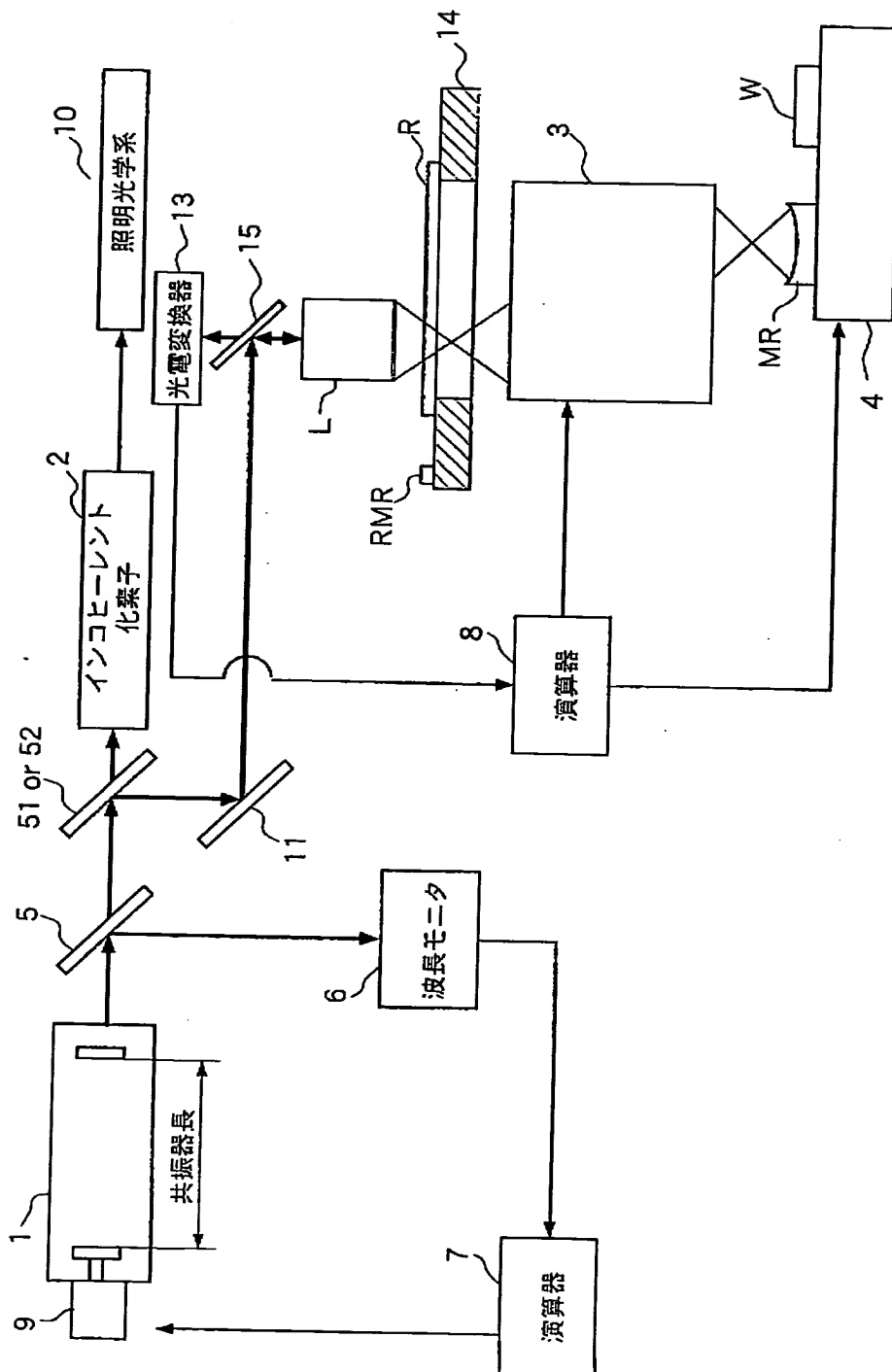
【図 1】



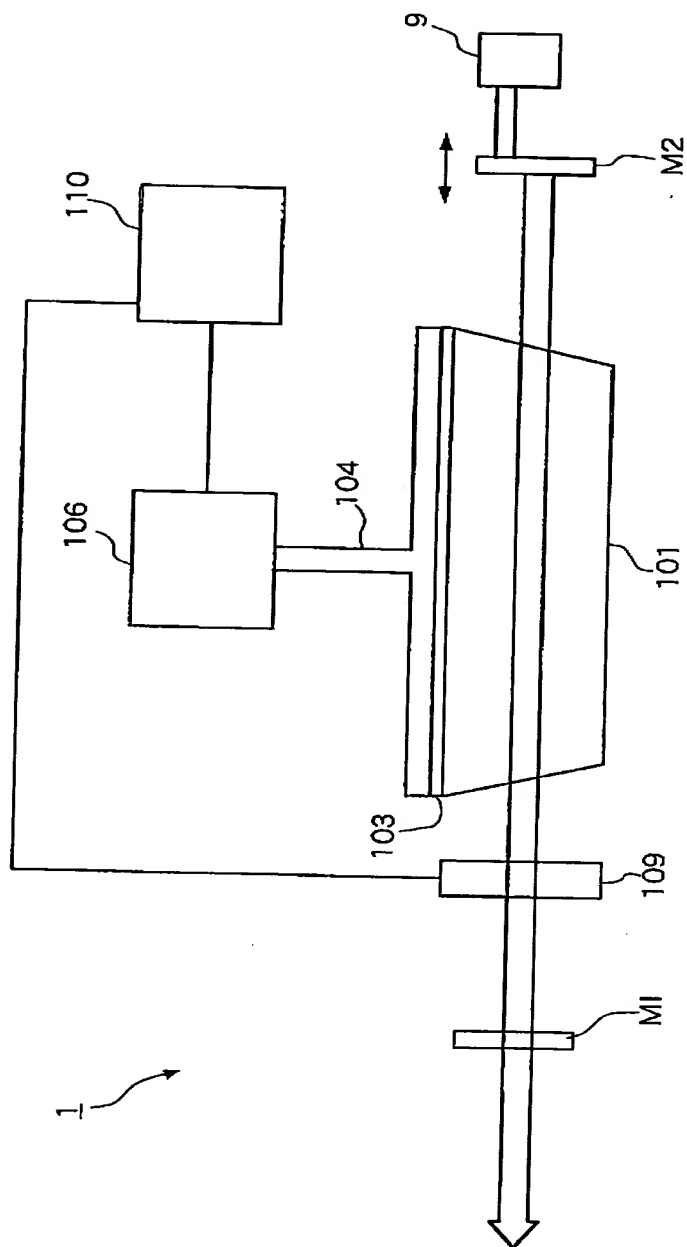
【図 2】



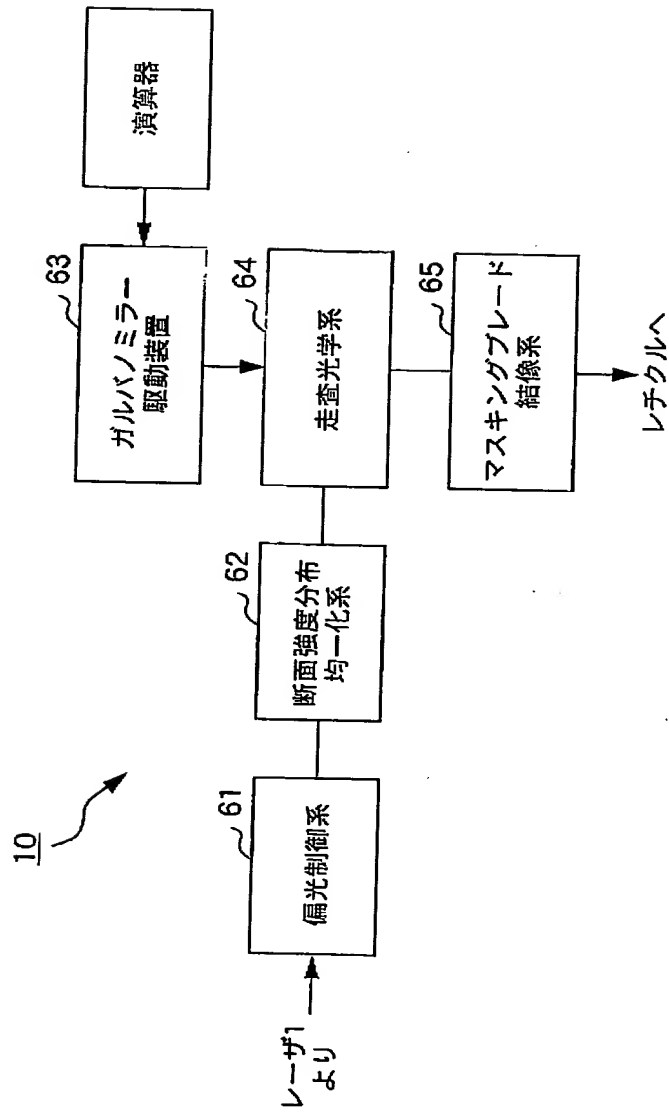
【図 3】



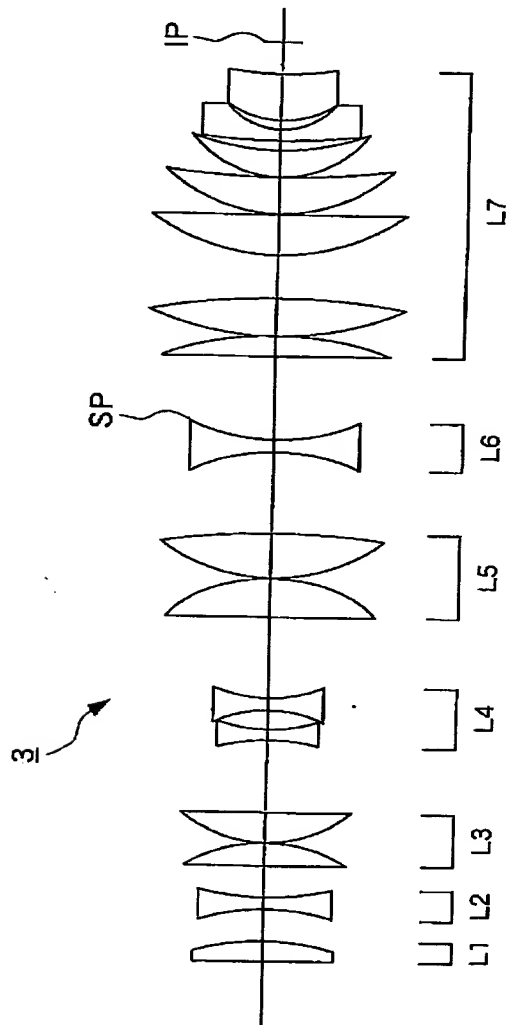
【図4】



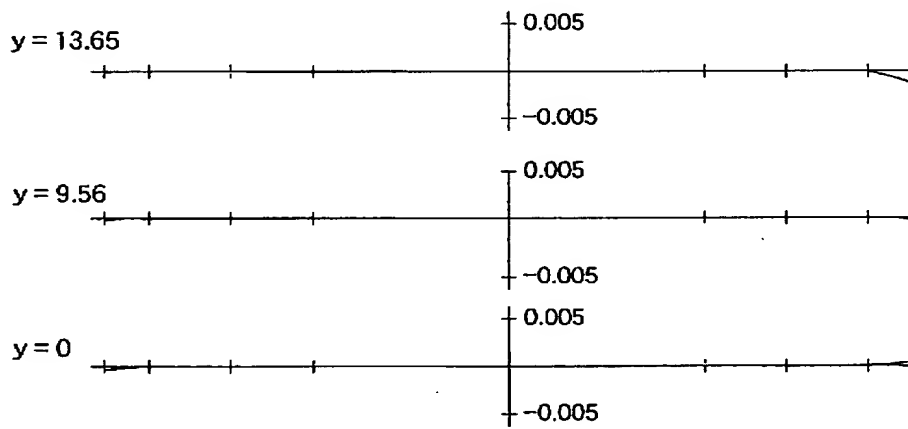
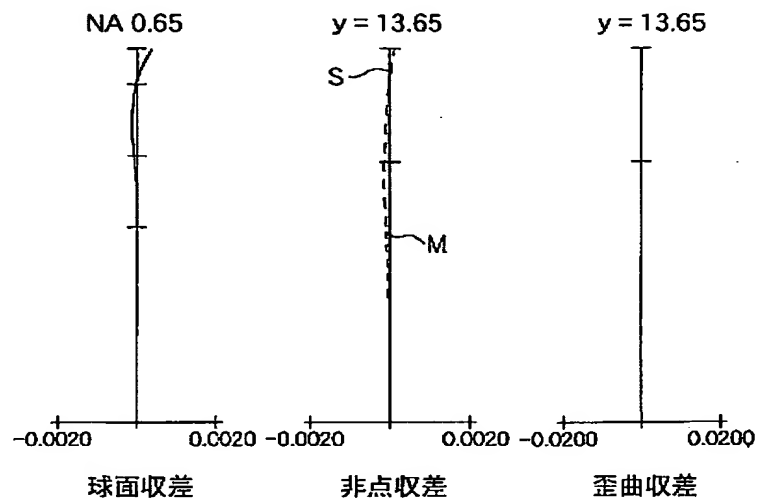
【図 5】



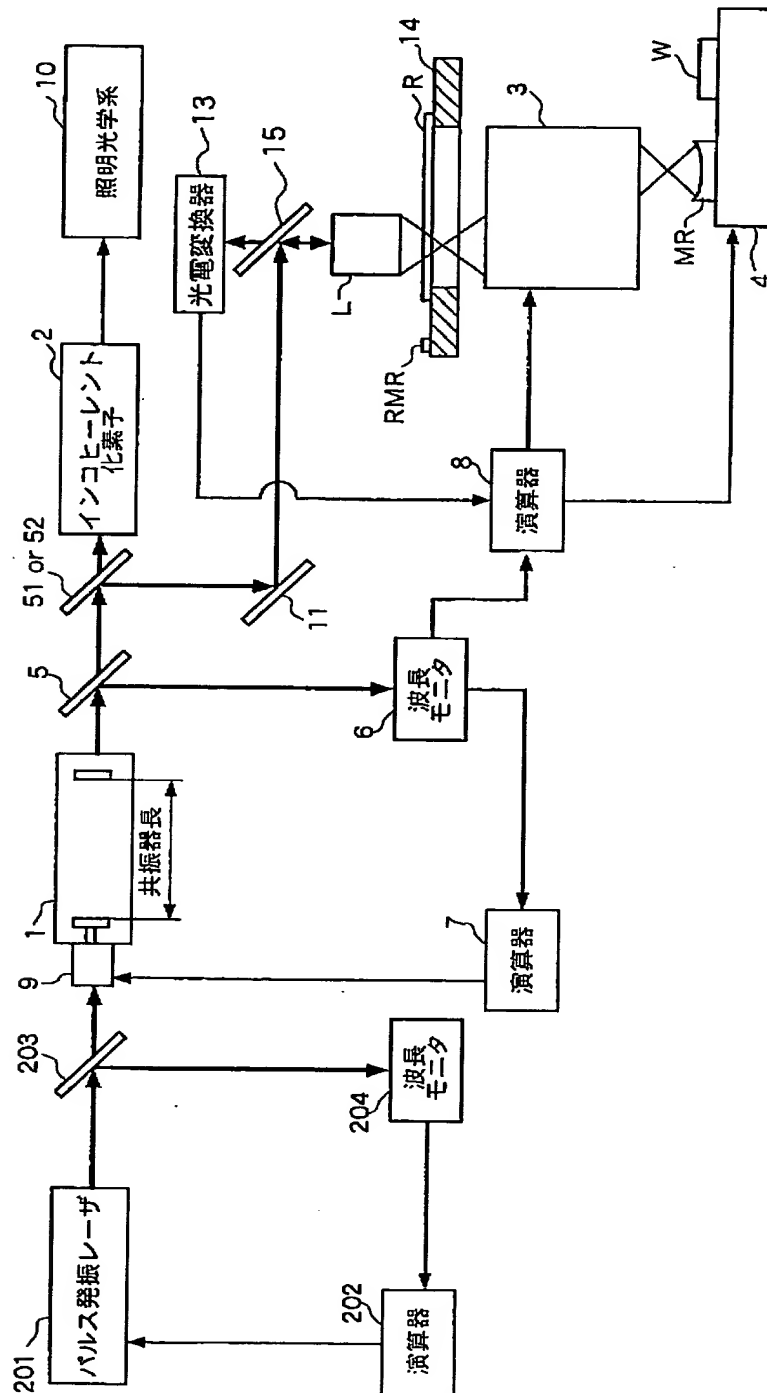
【図6】



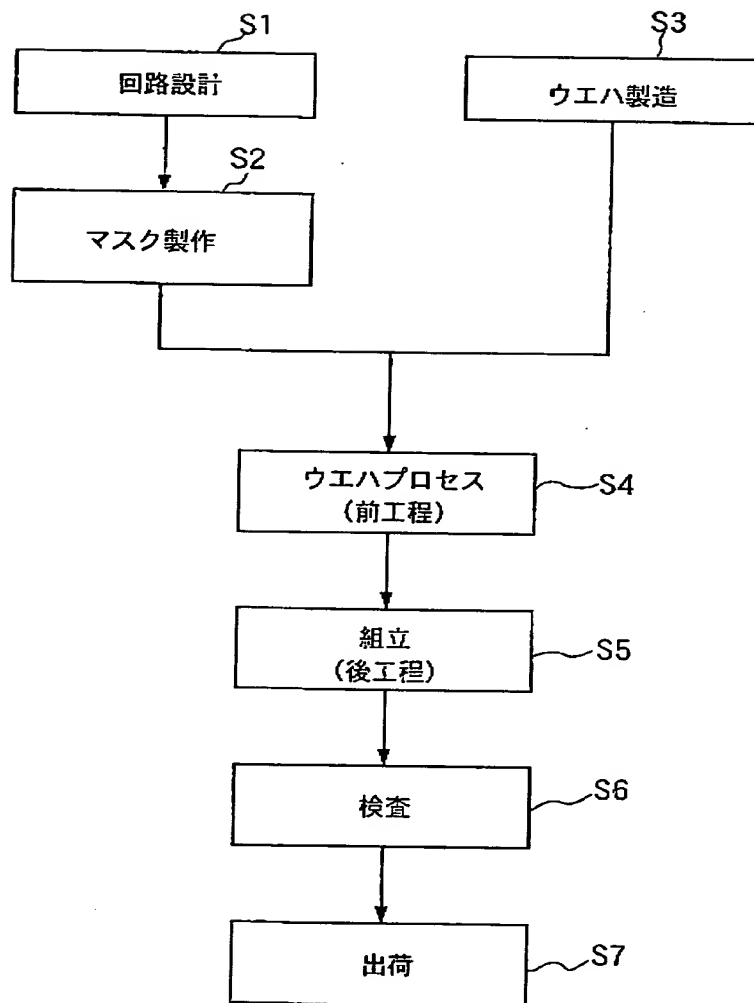
【图 7】



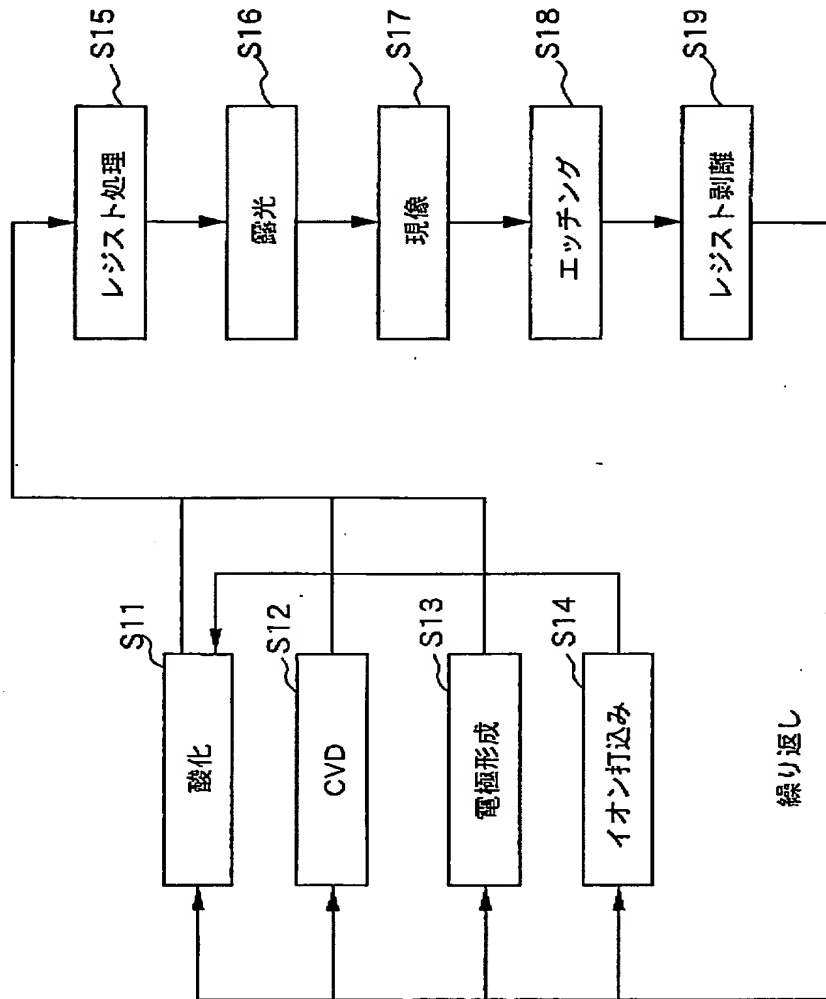
【図 8】



【図 9】



【図10】



【図 1 1】

i	ri	di	ni	Obj-distance=64.400
1	0.000	21.483	1.56020	
2	-234.177	32.837		
3	-217.725	11.000	1.56020	
4	417.996	33.850		
5	0.000	22.468	1.56020	
6	-187.357	0.700		
7	146.365	26.864	1.56020	
8	2044.065	74.989		
9	-217.939	11.000	1.56020	
10	218.942	19.185		
11	-111.200	11.000	1.56020	
12	162.388	83.304		
13	4095.070	42.510	1.56020	
14	-165.000	0.700		
15	203.723	45.798	1.56020	
16	-760.044	82.340		
17	-193.459	11.000	1.56020	
18	188.694	20.034		
19	0.0(stop)	68.080		
20	-2876.458	19.965	1.56020	
21	-387.830	0.700		
22	366.325	37.399	1.56020	
23	-613.820	45.002		
24	243.386	40.478	1.56020	
25	-4311.737	0.700		
26	181.915	35.797	1.56020	
27	881.126	0.700		
28	119.183	27.705	1.56020	
29	256.810	9.045		
30	770.652	11.000	1.56020	
31	80.000	10.112		
32	122.097	47.000	1.56020	
33	275.295			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C
2	0.000000e+000	-1.114212e-007	1.060175e-011	-7.279118e-016
3	0.000000e+000	-7.330288e-008	1.877977e-011	-1.654304e-015
7	0.000000e+000	1.794366e-008	-1.746620e-012	2.819556e-016
11	0.000000e+000	-1.072701e-007	-1.342596e-012	7.030022e-016
17	0.000000e+000	-1.232061e-008	1.881693e-012	2.948112e-017
23	0.000000e+000	5.143208e-009	1.895658e-013	-2.954221e-018
32	0.000000e+000	2.598613e-008	5.141410e-012	-1.743487e-016

i	D	E	F	G
2	4.276504e-020	-7.962637e-025	0.000000e+000	0.000000e+000
3	1.154005e-019	-3.636200e-024	0.000000e+000	0.000000e+000
7	-1.250557e-020	4.866995e-025	0.000000e+000	0.000000e+000
11	5.449568e-020	5.143056e-023	0.000000e+000	0.000000e+000
17	-2.584618e-021	1.229520e-026	0.000000e+000	0.000000e+000
23	5.204719e-023	-5.427645e-028	0.000000e+000	0.000000e+000
32	4.963194e-020	-1.947370e-023	0.000000e+000	0.000000e+000

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 投影露光装置の大型化を回避しつつ測定用の干渉計を備える。

【解決手段】 連続発振レーザ 1 から出力されるレーザ光を露光及び測定の双方に利用する。連続発振レーザ 1 から出力されるレーザ光を半透過鏡 5 1 及びミラー 1 1 により無収差光学系 L に指向する。干渉計は、無収差光学系 L、投影光学系 3、及び、ウェハステージ 4 上の反射部材 M R を有し、投影光学系 3 の波面収差を反映した干渉縞を光電変換器 1 3 上に形成する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名 キヤノン株式会社